

超音速流れ場を用いた大気中に浮遊する異形微小粒子の形状別サンプリング手法の検討

(金沢大院・自然科学研究科) ○ 坂野貴子・清水良保・坂野健夫・(正) 古内正美

1. はじめに

人間活動あるいは自然界より発生する大気中浮遊粒子状物質は多種多様な粒子径、形状を有しているが、それらの中で大気環境を汚染している物質の多くは微小粒子側に偏在している。これらの大気汚染物質の動態を把握するために、微小な粒子状汚染物質を短時間で大量にサンプリングする手法を確立することが望まれている。以上の要請に応じるため、これまで微小粒子のサンプリング装置として、ラバールノズルで形成される超音速気流中の粒子に大きな慣性力を作用させ、微小粒子を高速・大量にサンプリングする装置の開発が行われてきた。このような装置の超音速流れ場中の粒子分離性能を決定する因子として、装置構造、粒子慣性力についての検討はされているが、同一の粒子慣性力で形状の異なる粒子の粒子分離性能に関する研究はなされていない。大気中に浮遊している粒子状物質の形状の差について、動力学的形状係数（異形粒子に作用する流体抗力／異形粒子と同体積の球形粒子に作用する流体抗力）を導入して比較した一例を表-1に示す。このような粒子形状の差を利用して粒子の種類すなわち粒子成分毎に分離できれば、大気汚染物質の動態に関して更に詳細な議論が可能になると考えられる。

本研究では、超音速流れ場における粒子形状の違いが粒子の分離に及ぼす影響を把握することを目的として、種々の動力学的形状係数を有する粒子を想定し、数値解析の観点から分離効率を比較することにより異形微小粒子の形状別サンプリング手法の検討を行った。

表-1 主な粒子状物質の動力学的形状係数¹⁾

粒子の種類	動力学的形状係数 χ
瀝青炭	1.05～1.11
水晶	1.36
砂	1.57
滑石	2.04

2. 検討方法

(1) 数値計算方法および条件

数値解析に用いた計算領域および境界条件を図-1に示す。計算領域内の2次元数値解析を行い、得られた流れ場上で粒子運動軌跡を計算して、粒子分離効率を推定した。数値解析には流体解析プログラムFLUENT (ver.6.02)を使用した。計算は動作流体の空気を粘性・圧縮性流体と仮定し、 $k-\epsilon$ 乱流モデル(realizable type)を粘性モデルとし行った。また、ノズル形状は矩形断面、幅は1mmである。

図-1の上図に計算領域内の速度分布を示す。ノズル入口直後の白色で示す領域で超音速流れが形成されていることがわかる。また、図-1の下図の圧力分布と対応させると、急激な圧力変化が生じたことによる衝撃波が形成されているのがわかる。

以上のように得られた流れ場に対して、

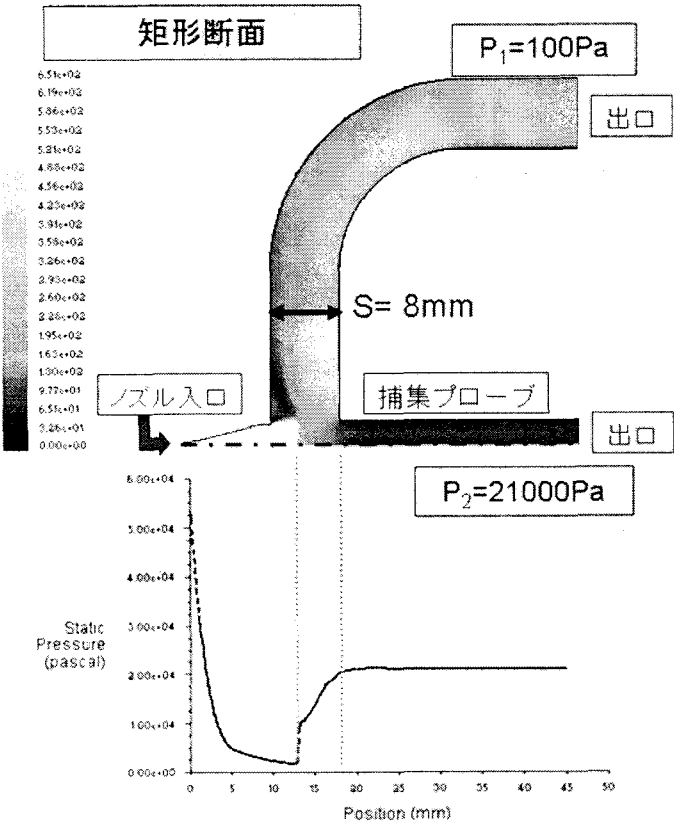


図-1 速度分布（上図）及び圧力分布（下図）

動力学の形状係数 χ (球体, 2~4 鎖状, 楕円体, 円柱)^{1) 2)}を変化させて粒子運動軌跡を求め, 粒子分離効率に及ぼす粒子形状の違いについて検討を行った。計算では, 粒子体積を一定とし, 粒子の配向はランダム配向とする。

さらに, シース気流を用いることで, 粒子運動軌跡を制御し, 分離効率向上の有無について検討を行った。

3. 結果と考察

粒子の慣性力を表す $\sqrt{Stk}$ と粒子分離効率の関係を種々の動力学の形状係数に関して図-2に示す。図より, 動力学の形状係数の異なる形状ごとに分離効率曲線は独立しているが, 値に明確な差は見られない。このことより, 形状が異なる粒子を同時にサンプリングすることを考えると, それらを完全に分離することは困難であることがわかる。そこで, 更に形状による分離効率を向上させるため, 図-2に示した結果と同条件で, シース気流を用いることによる形状分離効率の向上を試みた。結果を図-3に示す。図より, 図-2に示した結果と比較して分離効率曲線がシャープになり, シース気流を用いたことによる形状分離効率の向上が認められた。

図-2および図-3の結果を基に, 球体とその他の形状の2種類の異なる形状を有する粒子を導入した場合の形状別分離効率を表-2に示す。球体との分離効率はシース気流を用いることにより全体的に高くなっており, 鎖状粒子に比べて楕円体, 円柱に対する影響が大きいことがわかる。このことより, 現段階では動力学の形状係数を指標とした異形状分離はシース気流を導入しても困難であると考えられるが, 今後, 静電場中での粒子の荷電量の差が異形状分離に与える影響を考える等, さまざまな手法を併用することで更なる形状分離効率の向上が図れると考えられる。

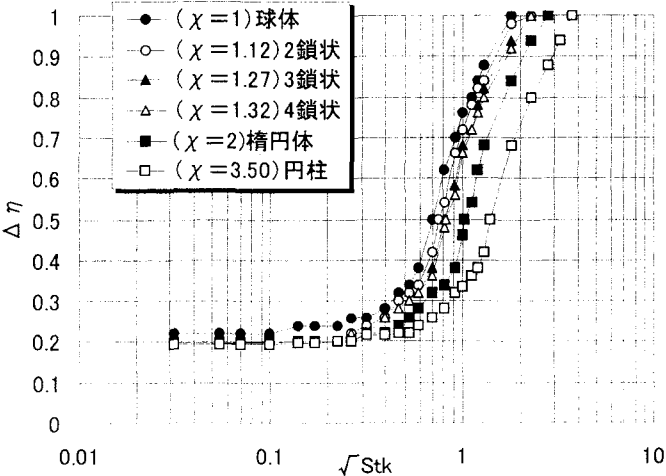


図-2 形状別分離効率曲線

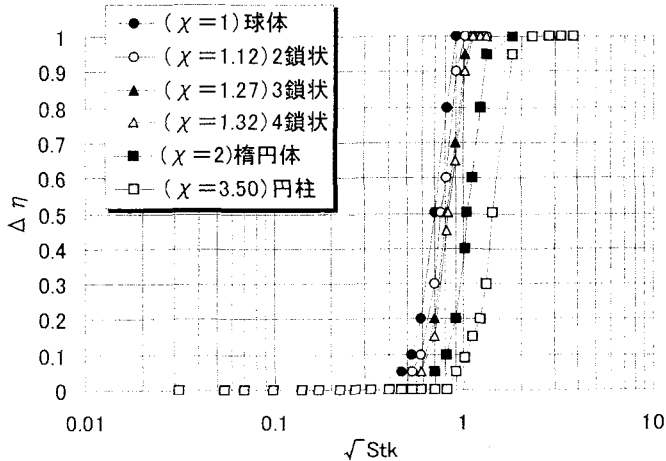


図-3 形状別分離効率曲線 (シース気流)

表-2 球体と比較した場合の分離効率

球体と比較した場合	分離効率 (%)	
		シース気流
2 鎖状	29	35
3 鎖状	31	40
4 鎖状	32	44
楕円体	43	80
円柱	52	95

参考文献

1) Davies, C. N., "Particle Fluid Interaction", *J. Aerosol Sci.*, 10, 477-513(1979).
2) Kasper, G., T. Niida and M. Yang, "Measurements of Viscous Drag on Cylinders and Chains of Spheres with Aspect Ratios between 2 and 50", *J. Aerosol Sci.*, 16, 535-556(1985).